

落花生の物質生産に関する研究 —高 CO₂ 濃度および高温環境が生育および光合成に及ぼす影響—

中澤 文男

Studies on Dry Matter Production in Peanuts Effects of Elevated CO₂ and Temperature Conditions on Growth and Photosynthesis

Fumio NAKAZAWA

*Department of Agriculture
School of Agriculture, Meiji University
1-1-1 Higashimita, Tama-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa-ken, 214-8571
Received November 11, 1999; Accepted January 25, 2000*

Synopsis: To examine the effects of CO₂ concentration and temperature on the growth of peanuts, this study was carried out by the use of naturally-lit phytotron.

- (1) High CO₂ concentration promoted the growth of stems and leaves and especially leaf area, but its effect on roots was obscure in the case of a variety Chiba-handachi.
- (2) Under high CO₂ and temperature conditions, plant growth slowed down with decreasing day length and amount of solar radiation.
- (3) Generally, the growth rate was high under high CO₂ and temperature conditions and the effect of high CO₂ could be noticed even at moderate temperature.
- (4) Under high CO₂ and temperature conditions the rate of photosynthesis of Chiba-handachi, a Virginia type, increased, while those of Valencia and Spanish types did not.

Key words: CO₂ concentration, Peanuts, photosynthesis, temperature.

緒言

現在、地球規模の人口増加や温暖化、砂漠化などによって大気中の CO₂ 濃度が上昇している。このような大気環境の変化に対して植物の光合成炭素固定系がどのように適応して行くかについて検討して行く必要がある。一般的に多くの C₃ 型作物は CO₂ 濃度の上昇によって光合成速度、物質生産、子実生産等を高め有利となることが知られている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽¹⁷⁾。また、施設園芸作物では CO₂ 施肥などの栽培が多く行われ増収効果が認められている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽¹¹⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁹⁾。CO₂ は温室効果ガスの一つであることから、その濃度の増加は気温の上昇をもたらす可能性が高い。そのため大気中の CO₂ 濃度上昇と作物生産との関係をより正確に把握するためには、CO₂ 濃度のみならず温度の影響を含めて検討

する必要がある。また、作物の乾物生産は光合成に依存するものであることから、いかにして作物の光合成を盛んにし、多くの乾物を生産するかが課題となる。

水稻の生育や収量に及ぼす高 CO₂ 濃度と光合成速度に及ぼす影響についての報告がある⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽²⁰⁾。落花生は他の作物と異なり地上部で開花し子房柄が伸長して土中に侵入することによって肥大するという習性を持っているため、地上部の生育状況の観察から直ちに地下部の肥大状況を把握することは難しいが、地上部の形態では子葉節分枝の生育が初期生育期より進むことが知られていることから地下部の生育状態をある程度知ることができる⁽¹²⁾⁽¹⁸⁾。また、落花生は数種のタイプに分類されており、形態的な面や光合成速度について品種間差が認められている⁽¹⁵⁾。本実

験ではCO₂濃度および温度が上昇した場合の落花生の生育と光合成に及ぼす影響について、ファイトトロンを用いて検討を行なった。

材料及び方法

実験Ⅰ 落花生の初期生育に及ぼすCO₂濃度の影響

1997年に品種千葉半立を用い、1/5000 a ワグネルポットに5月5日播種し、発芽後3葉展開時までガラス室で生育させた。6月5日より各CO₂濃度および温度条件に設定した自然光ファイトトロン内でCO₂濃度処理を開始した。

試験区の構成

高CO₂. 高温区・CO₂濃度750ppm (昼温33℃夜温27℃)
標準CO₂. 中温区・CO₂濃度370ppm (昼温28℃夜温22℃)
高CO₂. 中温区・CO₂濃度750ppm (昼温28℃夜温22℃)

CO₂処理開始後35日目に抜き取り、生育調査をおこなった。調査項目は、主茎長、主茎葉数、全葉面積、全葉数、1次、2次分枝数、茎葉、根部の乾物重である。

実験Ⅱ 実験Ⅰと同様のCO₂処理試験区を設定して、9月1日に品種千葉半立を用い、本葉3葉展開時より44日間CO₂濃度処理を行なった。試験は処理後30日目に抜き取り生育調査を行なった。

実験Ⅲ 1998年度に実験Ⅰと同様のCO₂処理試験区を設定して実験を行なった。品種は千葉半立を用い5月14日播種、発芽後第3本葉展開の後、各CO₂濃度処理を行なった。処理後70日目に抜き取り、生育調査を行なった。

実験Ⅳ 落花生各品種に及ぼすCO₂濃度の影響

落花生は数種のタイプが認められるため、それぞれのタイプより数品種を選び、タイプの違いによるCO₂濃度の影

響について実験を行なった。供試品種は千葉半立、ナカテユタカ(バージニアタイプ)、飽託中粒(バレンシヤタイプ)、ジャワ13号、サウススイートランナー(スパニシュタイプ)である。1998年9月29日播種、本葉3葉展開時より実験Ⅰと同様のCO₂処理試験区を設定してCO₂濃度処理を行なった。処理後40日目に光合成速度の測定を行ない、同時に抜き取り生育調査を行なった。

光合成の測定：光合成の測定は、光合成蒸散測定システム(小糸工業製)を用い、屋外の空気を用いる通気法によった。落花生の光合成の測定に用いた葉は主茎展開葉の最上位葉を除く上位2～3葉の個葉についてマイクロチャンバーを用いて行なった。なおマイクロチャンバー内の環境は25℃、湿度60%に制御した。

照射光源は200V、400W 東芝製陽光ランプ6個を用い、照射光源を上下に移動させることにより、照射光の強弱を調節した。照射光の強さは、小糸工業製光量子センサーを用いて測定した。光合成測定後に暗黒条件で呼吸を測定した後、光合成測定葉について自動葉面積計にて葉面積を測定し、単位葉面積あたりの純光合成速度および呼吸速度として算出した。

結果及び考察

実験Ⅰ 我が国における落花生栽培品種の中で代表的な品種の千葉半立を用いて、生育とCO₂濃度及び栽培温度との関係について検討した。CO₂濃度処理終了時に抜き取り、生育調査を行なった。その結果を第1表の実験Ⅰに示す。地上部の形質についてみると、主茎長、主茎葉数、全葉面積、一次分枝数、のいずれの形質とも標準CO₂・中温区に

第1表 落花生の生育に及ぼすCO₂濃度および温度の影響

試験区		主茎長	主茎葉数	全葉面積	全葉数	分枝数		乾物重	
		cm		cm ²		1次	2次	茎葉 g	根 g
標CO ₂ 中温	I	23.6 a	14.3 b	1924.62 b	88.0 b	7.5 b	13.0 a	16.1 b	2.7 a
	II	17.5 a	11.0 b	958.05 a	39.3 a	4.3 a	3.5 a	7.5 b	0.6 a
	III	23.9 a	13.8 b	2268.73 b	106.0 b	6.5 b	10.0 a	20.5 b	4.0 a
高CO ₂ 中温	I	25.4 ab	15.3 b	2444.06 a	106.7 b	8.7 b	10.8 ab	25.1 a	4.8 a
	II	16.8 ab	11.0 b	1327.15 a	47.0 a	4.5 a	2.8 a	11.4 a	0.8 a
	III	25.5 a	15.8 ab	2519.58 ab	114.0 b	7.3 b	12.8 b	24.8 ab	3.9 a
高CO ₂ 高温	I	27.9 a	16.5 a	2698.38 a	143.7 a	10.5 a	13.2 a	28.3 a	2.6 a
	II	21.3 a	12.8 a	1148.70 a	45.3 a	5.3 a	2.8 a	9.3 ab	0.6 a
	III	27.8 a	16.8 a	3087.04 a	151.5 a	9.5 a	13.8 a	30.2 a	5.2 a

* 品種 千葉半立

* 表中のⅠは実験Ⅰ、Ⅱは実験Ⅱ、Ⅲは実験Ⅲを示す

* 各調査項目内で異なるアルファベットは5%水準で有意差があることを示す

比べ高 CO₂・高温区で高い値を示した。全体として、高 CO₂・高温区>高 CO₂・中温区>標準 CO₂・中温区の傾向を示し、高 CO₂濃度施用・高温区でより生長が早まることが認められた。また、いずれの形質とも CO₂高濃度処理区で有意差が認められた。

CO₂濃度と植物の生育に関しては、CO₂を2倍(750ppm)の濃度が高めることによって光合成も高まり、イネでは CO₂濃度を2倍にすると15~70%の増加が認められている。また、高い CO₂濃度下では N、P の利用効率が高まることが知られている⁽⁹⁾。

地上部形質は高 CO₂・高温区>高 CO₂・中温区>標準 CO₂・中温区の傾向を示し、地上部の増大が認められたが、根部の乾物重については、高 CO₂・中温区>標準 CO₂・中温区>高 CO₂・高温区の傾向を示し、高 CO₂・中温区での生育量が高かったが、いずれの形質とも有意差は認められなかった。

以上、高温で高濃度の CO₂施用により葉数の増加と、それに伴う葉面積の顕著な増大が認められ、また、高 CO₂濃度・中温区においても高温に比べて低い値であるが高 CO₂施用の効果が認められた。

実験II 実験Iと同様の CO₂処理を行なったが、実験Iと異なる点は、9月1日に播種を行なったため、栽培時期が異なることからファイトトロン内の温度および CO₂の設定条件は同様であるが、光環境(光量、日長等)が第I実験と異なることによって第I実験に比べ総体的に生育量

は低い値を示した。CO₂処理終了時に抜き取り、生育調査を行った結果を第1表実験IIに示した。主茎長、主茎葉数においてはほとんど各試験区間には差は認められなかった。全葉面積および全葉数においては、高 CO₂・高温区、高 CO₂・中温区の CO₂施用区においていくぶん高い値を示したが、有意差は認められなかった。分枝数においても有意差は認められなかった。また、茎葉、根部の乾物重においても CO₂施用区においていくぶん高い値を示したが、有意差は認められず、実験Iに比べ CO₂施用の効果はほとんど認められなかった、その要因として光環境が異なり、日射量の減少が大きく影響したものと思われる。

実験III 1998年度に実験Iと同様、品種千葉半立を用い実験を行なった。CO₂処理終了日に抜き取り、生育調査を行った結果を第1表実験IIIに示した。主茎長については殆ど差異は認められず、主茎葉数、全葉面積、全葉数、第1次、2次分枝数等において高 CO₂濃度・高温区で有意差が認められた。高 CO₂濃度施用・中温区では各形質ともほとんど有意差は認められなかったが、標準 CO₂・中温区に比べて各形質ともいくぶん高い値を示した。乾物重については、ほとんど差異は認められず、前年度の第1実験と同様な傾向を示し、高温下で高 CO₂濃度の施用をすることにより各形質の生長を促進することが認められた。このことから、実験に用いた千葉半立はバージニアタイプであり、このタイプの品種は匍匐茎で大粒系であることから高 CO₂濃度での栽培において、高温で CO₂の吸収が有効に働

第2表 落花生品種の生育に及ぼす CO₂濃度および温度の影響

試験区 品種	CO ₂ 温度	主茎長	主茎葉数	全葉面積	全葉数	分枝数		乾物重	
		cm		cm ²		1次	2次	茎葉 g	根 g
千葉半立	高. 高区	35.8 b	13.5 b	1334.48 ab	65.3 ab	6.8 a	3.5 b	9.8 b	1.5 abc
	標. 中区	20.9 ghi	9.8 cdef	335.41 fg	24.8 fg	3.5 d	0 d	2.9 gh	0.7 bcd
	高. 中区	27.0 def	10.3 cd	803.94 d	37.3 cde	6.3 ab	2.8 b	6.5 d	1.6 ab
ナカテ ユタカ	高. 高区	33.7 bc	13.0 b	1566.29 a	72.3 a	7.0 a	5.5 a	11.4 a	1.6 ab
	標. 中区	21.1 gh	9.0 efg	331.37 fg	26.8 efg	4.0 cd	0.5 cd	2.8 gh	1.2 abcd
	高. 中区	30.3 cd	10.5 c	738.06 de	41.3 c	5.3 bc	3.5 b	5.7 def	1.6 ab
飽託中粒	高. 高区	33.9 bc	12.5 b	1096.56 c	38.0 cd	4.0 cd	0 d	8.5 bc	2.1 a
	標. 中区	17.8 hi	8.3 g	213.21 g	24.5 fg	3.5 d	0 d	1.5 hi	0.4 cd
	高. 中区	22.8 fg	9.3 defg	677.70 de	29.5 def	4.0 cd	0 d	4.8 ef	0.8 bcd
ジャワ 13号	高. 高区	49.5 a	15.8 a	1095.36 bc	38.5 cd	4.0 cd	0 d	8.1 c	1.5 abc
	標. 中区	18.0 hi	8.8 fg	226.27 g	18.8 fg	2.0 e	0 d	1.5 hi	0.7 bcd
	高. 中区	28.8 de	10.0 cde	544.56 ef	29.0 def	3.3 de	0 d	4.2 fg	0.5 bcd
サウスイ ーストラ ンナー	高. 高区	34.8 b	12.8 b	1079.06 c	54.8 b	6.3 ab	3.5 b	5.9 de	1.5 abc
	標. 中区	16.8 i	8.3 g	164.28 g	17.8 g	3.3 de	0 d	1.1 i	0.3 d
	高. 中区	25.0 efg	10.0 cde	540.69 ef	36.3 cde	4.5 cd	2.0 bc	4.3 fg	0.8 bcd

*各調査項目内で異なるアルファベットは5%水準で有意差があることを示す

*高. 高区は、高 CO₂ (750ppm)、高温 (33/27℃)。標. 中温区は、標準 CO₂ (370ppm)、中温 (28/22℃)。高. 中区は高 CO₂、中温を示す。

くことが認められたが、中温の場合には CO_2 の吸収が高まらなかったのではないかとされた。このことについては今後検討したい。

実験Ⅳ 品種と CO_2 濃度との関係

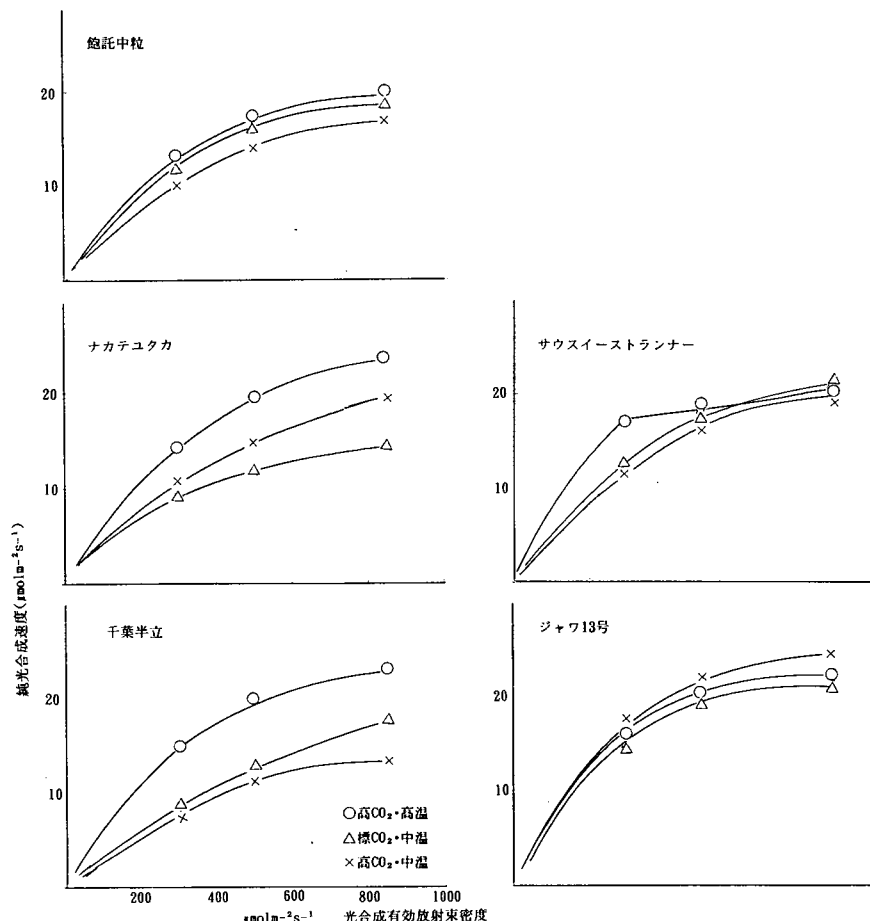
品種と CO_2 施用濃度との関係について示したのが第2表である。地上部の各形質は、いずれの品種においても高 CO_2 濃度施用区で高い値を示した。特に高温条件下で高 CO_2 濃度施用区でもっとも高い値を示し、各形質の間で有意差が認められるものが多かった。また中温条件下で高 CO_2 濃度施用区においても高 CO_2 ・高温区と同様の有意差を示す形質が認められるが高 CO_2 ・高温区に比べ数値的には低い値を示した。地上部の各形質の中でも高 CO_2 濃度施用区では、いずれの品種とも全葉面積の増加が著しく高 CO_2 ・高温区では標準 CO_2 ・中温区の約4—5倍の葉面積を示し、また高 CO_2 ・中温区においても約2—3倍の葉面積の増加が認められた。全葉面積の増加の主要因は葉数の増加によるものであり、また葉数の増加を招いた原因は主茎葉数の増大と第1次分枝数及び2次分枝数の増加によるものである。

地下部形質の根部の乾物重については有意差が認められない品種が多く、実験Ⅰでの品種千葉半立を用いた実験結

果と同様な傾向を示した。また茎葉での乾物重においても高い値を示した品種が認められ、これらの結果から落花生の生育において高 CO_2 濃度施用は各品種とも地上部の生長を促進する効果が認められ、その結果開花の促進をうながし収量の増加につながる可能性を示唆している。これらの点について今後検討したい。

各品種の純光合成速度について第1図に示した。千葉半立では高 CO_2 ・高温区において低照射照度から高い値を示し、標準 CO_2 ・中温区、高 CO_2 ・中温区の両区ではほとんど差異が認められなかった。ナカテユタカでは千葉半立に類似した傾向を示した。飽託中粒、ジャワ13号では各処理区間でほとんど差異は認められなかった。サウススイストランナーでは低照射照度下の光合成速度が高 CO_2 ・高温区で高かったが、高照射になるにしたがい、ほとんど差異が認められなかった。

これらの結果から長期間にわたり連続して高濃度の CO_2 にさらされた植物は、自然大気中で生育した植物と比べ光合成速度が低下する⁽¹¹⁾⁽²⁰⁾。このことは、日中の連続した CO_2 施用により葉中にデンプンが蓄積し、光合成のフィードバック阻害が起きるためとされ、また葉の肥厚との関連も指摘されている。吉岡によると、終日900ppm濃度の



第1図 落花生品種の光合成速度に及ぼす CO_2 濃度および温度の影響

CO₂施用を行ったハウレンソウの葉は蒸散の抑制やエチレン生成が促進される結果、葉の老化が促進されるとしている⁽¹⁹⁾。

本実験結果から、タイプによって光合成速度に幾つかのパターンが認められ、また品種によっても違いがあることも認められている⁽¹⁵⁾。特にバージニアタイプでは高温、高CO₂施用により光合成速度が高く、バレンシアタイプでは処理の影響はほとんど認められない。スパニッシュタイプでは草型が立性であることから上位葉での光合成速度はほとんど違いが認められなかった。特に品種による光合成速度の違いが認められるが、バージニアタイプは草型が匍匐系であるため分枝の発生も多く生長も旺盛であったことから、高濃度のCO₂条件下でCO₂の吸収量が高かったのではないと思われる。

なお、総体的に光合成速度が高い値を示したことは、主茎の上位葉について光合成速度を測定したことから、上位葉は展開してからCO₂にさらされる期間が短かったためではないかと思われる。このことについても今後検討したい。

要約

CO₂濃度施用による落花生の生育について、ファイトトロンを用い高CO₂濃度(750ppm)高温33℃/27℃、標準CO₂濃度(370ppm)中温28℃/27℃及びCO₂濃度(750ppm)中温28℃/22℃の条件下でのCO₂濃度差及び温度差が落花生の生育に及ぼす影響について実験をおこなった。

- (1) 品種、千葉半立では高CO₂施用により地上部の各形質について生長が早まり、特に葉面積で顕著な増大が認められたが、根部についてはほとんど差異は認められなかった。
- (2) 温度、CO₂濃度が一定の場合であっても日長、日射量が減少すると全般的に生育が低下し、高CO₂・高温区に比べ高CO₂濃度・中温区においても形質によってはいくぶん高い値を示した。
- (3) 各品種では高CO₂濃度・高温区において各形質とも高い値を示し、また高CO₂処理・中温区においてもCO₂施用の効果が認められた。
- (4) 光合成速度については、バージニアタイプの千葉半立では、高CO₂・高温区で光合成速度が高まるが、バレンシアタイプの飽託中粒ではほとんど変わらなかった。またスパニッシュタイプにおいてもほとんど差異は認められなかった。

引用文献

- (1) 今井勝、村田吉男 1978. 作物の生長と物質生産に及

ぼす炭酸ガス濃度の影響. 第4報 みかけの光合成、暗呼吸および乾物生産におよぼす炭酸ガス濃度処理の後作用. 日作紀 47:330-335.

- (2) Imai, K. and M. Okamoto-Sato 1991. Effects of temperature on CO₂ dependence of gas exchanges in C₃ and C₄ crop plants. Jpn. J. Crop Sci. 60:139-145.
- (3) 今井勝 1988. 二酸化炭素と作物生産. 日作紀 57:380-391.
- (4) 今津正、矢吹万寿、織田弥三郎 1967. 炭酸ガス環境に関する研究. 第2報 CO₂濃度がナスの生育、開花および結実に及ぼす影響. 園学雑 36:275-280.
- (5) 今津正、矢吹万寿、織田弥三郎 1967. 炭酸ガス環境に関する研究. 第1報. CO₂濃度がフダンソウの生育に及ぼす影響. 園学雑 36:179-185.
- (6) Calvert, A. and G. Salack 1975. Effects of carbon dioxide enrichment on growth, development and yield of glasshouse tomatoes. 1. Response to controlled concentrations. J. Hort. Sci. 50:61-71.
- (7) 金漢龍、堀江武、中川博視 1996. 高温、高CO₂濃度環境が水稻の生育、収量に及ぼす影響. 日作紀 65:644-651.
- (8) 金漢龍、堀江武、中川博視、和田晋征、瀬尾充 1994. 高温・高CO₂濃度環境がイネの生育・収量に及ぼす影響. 第6報、アキヒカリとIR36のN吸収とその利用効率について. 日作紀 63(別1):122-123.
- (9) 一、一、一、一、1996. 高温・高CO₂濃度が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 第1報、発育、乾物生産および生長諸形質について. 日作紀 65:634-643.
- (10) 一、一、一、一、1996. 高温・高CO₂濃度環境が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 第2報、収量および収量構成要素について. 日作紀 65:644-651.
- (11) 清田信・矢吹万寿 1982. 炭酸ガス環境に関する研究. VIII. 高CO₂濃度下におけるキュウリ葉の光合成速度の経時変化. 生物環境調節 20:17-23.
- (12) 高橋芳雄、竹内重之 1981. 落花生新品種「ナカテユタカ」について. 千葉農試報 22:57-69.
- (13) 谷川孝弘、長岡正昭、池田宏、清水明美 1993. キクの生育、光合成、および根の活動に及ぼすCO₂施用の影響. 園学雑 61:873-878.
- (14) 長岡正昭、高橋和彦、新井和夫、花田俊雄、吉岡宏 1979. 光の強さ・夜温・CO₂濃度が施設トマトの生育・収量におよぼす影響. 野菜試報A 6:105-122.
- (15) 中澤文男 1986. 落花生品種の光合成と光の強さとの

関係, 明大農研報 第73号71-75.

- (16) 久富時男 1979. トマトの施設栽培における環境調節に関する研究. 大阪府大学位論文.
- (17) 本間香貴, 中川博視, 堀江武, 大西宏明, 金漢龍 1999. 群落表面温度の隔測に基づく高温・高 CO₂ 濃度環境下の水稻の蒸散・熱収支特性の解析. 日作紀 68 : 137-145.
- (18) Yarbough, J, A. 1957. *Arachis hypogaea*. The seedling, its epicotyl and foliar organs. Amer. J. Bot. 44 : 19-30.
- (19) 吉岡宏, 中川泉, 河田貢, 西村仁一, 村上晶子 1989. 日照地域における施設野菜の CO₂ 施用に関する研究. 第 1 報. ホウレンソウ, イチゴの光合成, 蒸散に及ぼす CO₂ 施用の影響. 園学雑 58(別 2) : 350-351.
- (20) Larigauderie, A., J. Roy and A. Berger 1986. Long term effects of high CO₂ concentration on photosynthesis of water hyacinth. J. Exp. Bot. 37 : 1303-1312.